كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثانية**

المادة : اهتزازات وامواج

المحاضرة : ٨+٩+١٠ /**نظري**/ دكتورة

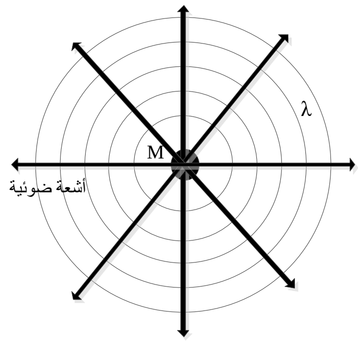
أهم ما جاء في المحاضرات 8+9+10

مقرر الاهتزازات والأمواج- د.سمر عمران

صدر الموجة:

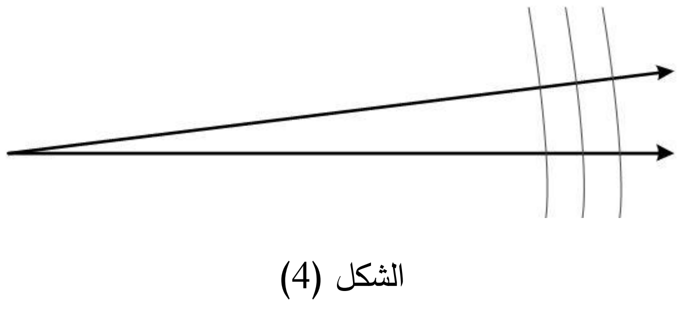
لنضع في النقطة M منبعاً للاهتزازة تُمثّل موضع سقوط حجر في ماء راكد أو تُمثّل منبعاً ضوئياً يولد هذا المنبع أمواجاً في جميع الاتجاهات.

نُعرّف صدر الموجة بأنّهُ مجموعة نقاط الفضاء التي يصلها الاهتزاز بآن واحد ويكون لجميع نقاط الاهتزاز الشدة نفسها. حيث أنَّ شدة الاهتزازة هي مربع سعتها.



الشكل (3)

بتعبير آخر صدر الموجة هو سطح تساوي شدة الاهتزازة في لحظة ما، وهذا السطح عبارة عن سطح كرة مركزها المنبع ولذلك نقول عن الموجة بأنها كروية. أمّا اتجاه الانتشار فمنطبق على نصف قطر الكرة أي معامد لصدر الموجة. أمّا إذا كان المنبع بعيد جداً فيمكننا اعتبار هذه الكرات مستويات معامدة لاتجاه الانتشار ونقول عن الموجة بأنها مستوية تقريباً كما في الشكل (4)، ولذلك يمكن اعتبار الأمواج القادمة من الشمس أمواجاً مستوية والأشعة الضوئية تكون عمودية على صدور الأمواج أي عمودية على هذه المستويات فهي أشعة متوازية. وبشكل عام تسمى الموجة بحسب الشكل الهندسي لصدرها فإذا كان كرة سميت أمواجاً كروية وإذا كان مستوياً سميت أمواجاً مستوية.

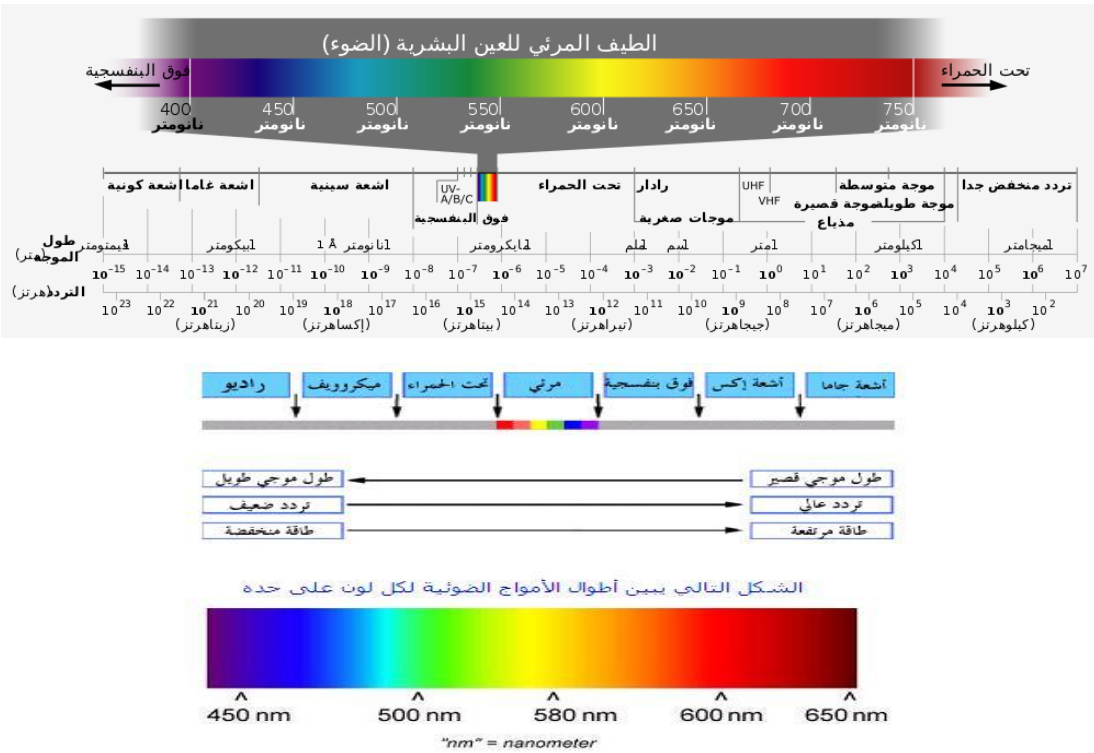


الشكل (4)

قرينة انكسار الوسط المتجانس:

نقول عن ضوء أنّهُ بسيط إذا كانت الموجة الضوئية الصادرة من المنبع الضوئي ذات تواتر محدد ووحيد ($\nu = \frac{1}{T}$ وحيد)، وتؤلف مجموعة الأضواء البسيطة الضوء المركب (الضوء الأبيض). تؤثر الأمواج الضوئية البسيطة المختلفة على عين الإنسان بانطباعات مختلفة تترجم بالألوان ندعو كلّ منها بشعاع ضوئي وحيد اللون وتمتد من البنفسجي وحتى الأحمر بدون حدود فاصلة بشكل واضح كما في الشكل (5)، أدوارها تزداد من $1.5 * 10^{-15}sec$ للبنفسجي حتى $2.5 * 10^{-15}sec$ للأحمر أمّا تواتراتها فتتناقص من $6.6 * 10^{14}Hz$ للبنفسجي حتى $4 * 10^{14}Hz$ للأحمر.

تختلف سرعة الضوء الوحيد اللون بحسب لونه أي بحسب تواتره وكذلك بحسب طبيعة الوسط الذي ينتشر فيه، ففي وسط غير متجانس وغير متماثل المناحي تكون السرعة تابعة للموضع والاتجاه $V(M,\vec{u})$ أمّا في وسط غير متجانس ومتماثل المناحي تكون السرعة تابعة للموضع فقط $V(M)$ وفي وسط متجانس ومتماثل المناحي تكون السرعة ثابتة وتتغير قيمتها من وسط إلى آخر. أما سرعة الضوء في الخلاء فهي ثابتة بالنسبة لجميع الألوان وتساوي $3 * 10^{8}m/s$ وهي أكبر من سرعته في الهواء وفي أي وسط آخر.



الشكل (5)

نعرّف قرينة الانكسار المطلقة لوسط ما (قرينة الانكسار بالنسبة للخلاء) بالنسبة لشعاع وحيد اللون بأنها نسبة سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته في وسط الانتشار أيّ:

$$n = \frac{c}{v}$$

بما أنَّ سرعة الضوء في الخلاء أكبر منها في الوسط (في كل مجال الضوء المرئي) فإنَّ قرينة الانكسار هي دائماً أكبر من الواحد وتابعة لتواتر الضوء المستخدم وسنوضح ذلك من خلال المثال التالي:

قرينة انكسار الزجاج هي:

$\lambda = 4861\ A^0$ من أجل $n = 1.5214$

$\lambda = 5893\ A^0$ من أجل $n = 1.5153$

$\lambda = 6560\ A^0$ من أجل $n = 1.5127$

نلاحظ أنَّ قرينة الانكسار تتناقص بازدياد طول الموجة.

تعطي الجداول عادة قرينة الانكسار بالنسبة لضوء الصوديوم البرتقالي $\lambda = 5893\ A^0$. سنذكر قرينة انكسار بعض المواد:

المادة	قرينة الانكسار
الماء	1.3330
الأسيتون	1.3620
البنزين	1.5014
كبريت الفحم	1.6277
الألماس	2.4173

لقد قيست قرينة الانكسار في هذا الجدول في درجة الحرارة $20\ C^0$ لأن قرينة الانكسار تتغير بالحرارة.

$$\lambda = \mathrm{V\,T} \quad , \quad \lambda_0 = \mathrm{C\,T} \qquad (20)$$

حيث: T : دور الموجة الضوئية هو مقدار مستقل عن الوسط الذي تنتشر فيه ولا يتعلق إلا بالمنبع.

λ, λ_0: طول الموجة في الخلاء وفي وسط الانتشار على الترتيب.

من العلاقتين (20) نجد:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{\mathrm{c}}{\mathrm{v}} = \mathrm{n} \qquad (21)$$

وبالتالي يمكن تعريف قرينة الانكسار بأنها نسبة طول الموجة في الخلاء إلى طول الموجة في وسط الانتشار.

نعرّف قرينة الانكسار النسبية لوسط (2) بالنسبة لوسط (1) ونرمز لها بِ n_{21} بأنها نسبة سرعة الضوء في الوسط الأول على سرعته في الوسط الثاني:

$$n_{21} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{C/V_2}{C/V_1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (22)$$

تطبيق: تساوي طول موجة الضوء الأحمر الصادر من ليزر الهيليوم–نيون 633nm في الهواء، 474nm في الخلط المائي للعين البشرية. المطلوب: احسب قرينة انكسار الخلط المائي وسرعة وتردد الضوء في هذه المادة؟

الحل:

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{633}{474} = 1.335$$

وهي قيمة قريبة جداً من قرينة انكسار الماء $(n_{H2O} = 1.333)$.

$$n = \frac{C}{v} \Rightarrow v = \frac{C}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1.335} = 2.25 \times 10^8 m/s$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2.25 \times 10^8}{474 \times 10^{-9}} = 4.75 \times 10^{14} Hz$$

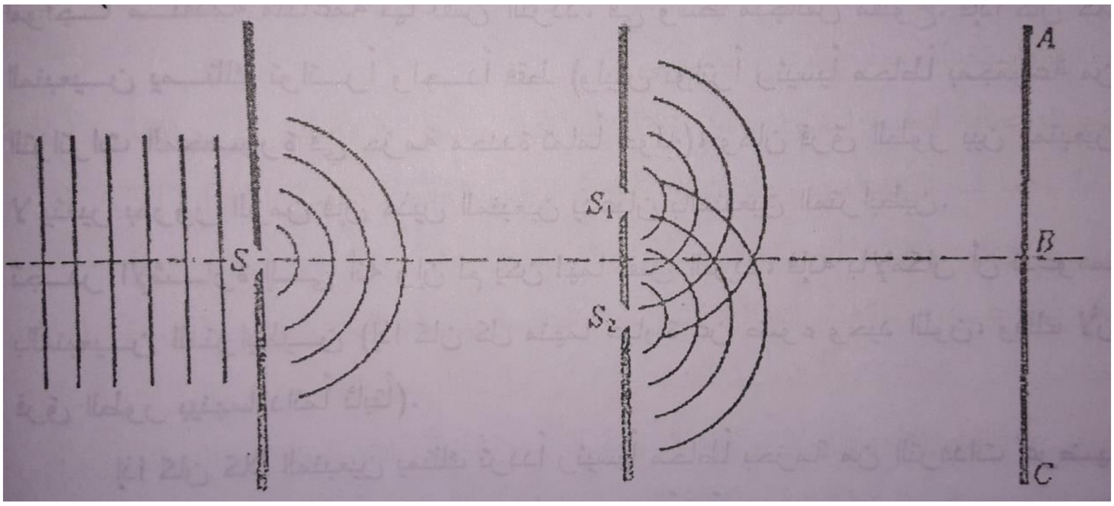
$$f_0 = \frac{C}{\lambda_0} = \frac{3 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 4.74 \times 10^{14} Hz$$

أي أنَّ التردد لا يختلف باختلاف المادة(التردد ثابت).

التداخل والمنابع المترابطة (المتماسكة): لقد تعلمنا بأنَّ الضوء يعد أساساً موجة، وسنفترض بأنّنا نتعامل مع الضوء الوحيد اللون عند دراسة وتحليل ظاهرتي التداخل والانعراج.

عندما يحدث التداخل فإنَّ الموجة الناتجة في أية نقطة وفي أية لحظة زمنية تكون خاضعة لمبدأ التراكب (الذي تمّ شرحه سابقاً)، ويمكن رؤية ظواهر التداخل بسهولة عندما نراكب (نجمع) موجات جيبية لها تردد وحيد وطول موجة وحيد.

يُظهر الشكل (1) منبعين متماثلين للأمواج وحيدة اللون. يولد المنبعان أمواجاً لها السعة ذاتها وطول الموجة ذاتهُ، وهذان المنبعان متوافقان بالطور بشكل دائم أي يهتزان بتردد واحد. يمكن لهذان المنبعان أن يكونا مكبرا صوت يتحكم بهما مضخم واحد أو أنتينا راديو يتحكم بهما جهاز إرسال واحد، أو شقان صغيران في شاشة عاتمة أُضيئت بنفس منبع الضوء الوحيد اللون. نقول عن المنابع الوحيدة اللون التي تهتز بالتردد نفسه والتي تتصف بعلاقة طور ثابتة أنها **منابع متماسكة أو مترابطة**. سوف نستخدم أيضاً مصطلح الأمواج المتماسكة (أو من أجل الأمواج الضوئية مصطلح الضوء المتماسك أو المترابط) للدلالة على أنَّ هذه الأمواج تصدر من منبعين يهتزان بالتردد نفسه وفرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن.



الشكل (1): المنبعان الضوئيان المترابطان.

إذا كانت الأمواج الصادرة من منبعين مترابطين عرضانية كالأمواج الكهرطيسية، فإننا سنفترض أيضاً أنَّ للاضطرابات الموجية المتولدة من هذين المنبعين الاستقطاب ذاته (أي أنها تقع على امتداد الخط ذاته). فعلى سبيل المثال يمكن للمنبعين المبينين في الشكل (1) أن يكونا أنتينا راديو على شاكلة عمودين طويلين موجهين بشكل موازي للمحور Z (بشكل عمودي على مستوي الشكل)، هذا يعني أنَّ الأمواج المتولدة عن هذين الأنتينين Antennas يملكان في أية نقطة من المستوي xy حقولاً كهربائية $\vec{E}$ وفق المركبة Z فقط. إذاً نحتاج إلى تابع سلمي وحيد فقط لوصف كل موجة، وهذا يجعل تحليل الظاهرة المدروسة لدينا أكثر سهولة.

تحديد مواقع مراكز الشرائط المضيئة على الحاجز:

نستنتج علاقة لتحديد مواقع مراكز الشرائط المضيئة على الحاجز. لتكن y_m بعد مركز شكل التداخل $(\theta = 0)$ عن مركز الشريط المضيء ذو الرقم m و θ_m القيمة الموافقة للزاوية θ، عندئذ نجد:

$$y_m = R\ \frac{m\lambda}{d}$$

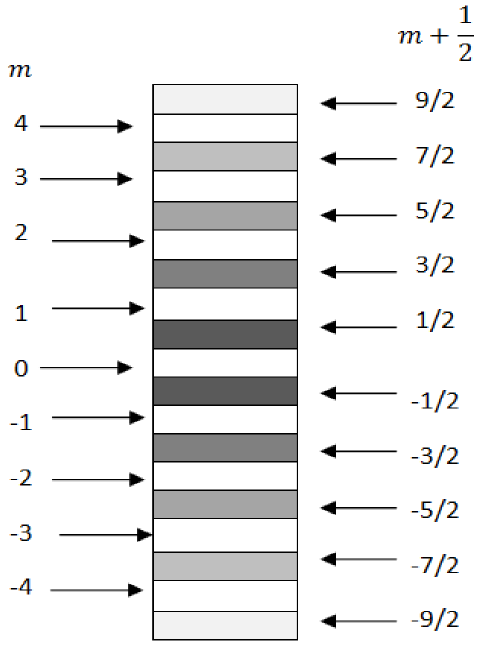
وهي علاقة التداخل البناء في تجربة يونغ.

حيث:

R: المسافة الفاصلة بين الشقين والحاجز.

d: المسافة الفاصلة بين الشقين.

m : رقم الشريط المضيء.



الشكل (2): الأهداب المضيئة والمظلمة.

يمكننا قياس كل من R,d بالإضافة إلى مراكز الأهداب المضيئة y_m، ولذلك تؤمن هذه التجربة لنا قياسات مباشرة لطول الموجة λ. وفي الواقع كانت تجربة يونغ أول تجربة تقيس طول الموجة للضوء بشكل مباشر.

تتناسب المسافة الفاصلة بين الأهداب المضيئة في شكل التداخل عكسياً مع المسافة الفاصلة بين الشقين d. فكلما اقترب الشقين من بعضهما كلما ابتعدت أهداب التداخل عن بعضها البعض والعكس بالعكس.

تطبيق: في تجربة تداخل موجتين بواسطة شقين يبعدان عن بعضهما بعضاً مسافة 0.2mm ويبعدان عن الحاجز مسافة 1m، يبعد الهدب المضيء الثالث m=3 عن الهدب المركزي مسافة 9.49mm، أوجد طول موجة الضوء المستخدم؟

الحل: نطبق المعادلة (5) من أجل λ من أجل الحالة الموافقة للرتبة m=3 :

$$\lambda = \frac{y_m\, d}{mR} = \frac{(9.49\times10^{-3}m)(0.2\times10^{-3}m)}{(3)(1m)} = 633nm \text{ (اللون الأحمر)}$$

يوافق هذا الهدب المضيء الرتبة $m=-3$ أيضاً.

أعد المسألة السابقة إذا علمت أنَّ الهدب المضيء الثالث يبعد عن الهدب المركزي مسافة $y_3 = y_m = 7.5mm$ ماذا تستنتج؟

الحل:

$$\lambda = \frac{y_m\, d}{mR} = \frac{(7.5\times10^{-3}m)(0.2\times10^{-3}m)}{(3)(1m)} = 500nm \text{ (اللون الأخضر)}$$

نستنتج أنَّ تباعد الأهداب يتناسب طرداً مع طول موجة الضوء المستخدم، وتكون متباعدة أكثر من أجل الضوء الأحمر منها من أجل الضوء الأخضر.

تطبيق: عادةً ما تُستخدم أزواج أو صفوف من الأنتينات لإصدار أنماط الإشعاع المطلوبة.ادرس أنتينين متماثلين يبعدان مسافة 400m عن بعضهما ويصدران أمواجاً راديوية باتجاه محدد وترددها 1500KHz (الموافقة للنهاية البعيدة لحزمة الإرسال AM) ويهتزان على توافق في الطور. أوجد الاتجاهات التي من أجلها تكون الشدات أعظمية على مسافات أكبر بكثير من 400m؟

الحل: بما أنَّ الموجة المحصلة تُرصد عند مسافات أكبر بكثير من 400m، يمكننا تطبيق المعادلة (1) $d\sin\theta = m\lambda$ بهدف معرفة الاتجاهات الموافقة للشدات العظمى، أي معرفة قيم الزاوية θ التي من أجلها فرق المسير يساوي الصفر أو عدد صحيح من الأطوال الموجية:

$$f = \frac{C}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{C}{f} = \frac{3\times10^{8}}{1500\times10^{3}} = 200m$$

وتعطي المعادلة (1) الموافقة للأهداب: $m = 0, m = \pm1, m = \pm2$ شدات أعظمية في الاتجاهات:

$$d\sin\theta = m\lambda \Rightarrow \sin\theta = \frac{m\lambda}{d} = \frac{m(200)}{400} = \frac{1}{2}m$$

من أجل $m = 0$ نجد $\sin\theta = 0$ ومنه $\theta = 0$

من أجل $m = \pm1$ نجد $\sin\theta = \pm\frac{1}{2}$ ومنه $\theta = \pm30^0$

من أجل $m = \pm2$ نجد $\sin\theta = \pm1$ ومنه $\theta = \pm90^0$

نلاحظ في هذا المثال أنَّ قيم m الأكبر من 2 أو الأقل من -2 تعطي قيم لـ $\sin\theta$ أكبر من 1 أو أصغر من -1 وهذا مرفوض. إذاً لا يوجد الاتجاه الذي من أجله فرق المسير يساوي ثلاثة أمثال أو أكبر من الأطوال الموجية، ولذلك ليس للقيم $m = \pm3$ أو أكبر أي معنى في هذا التطبيق.

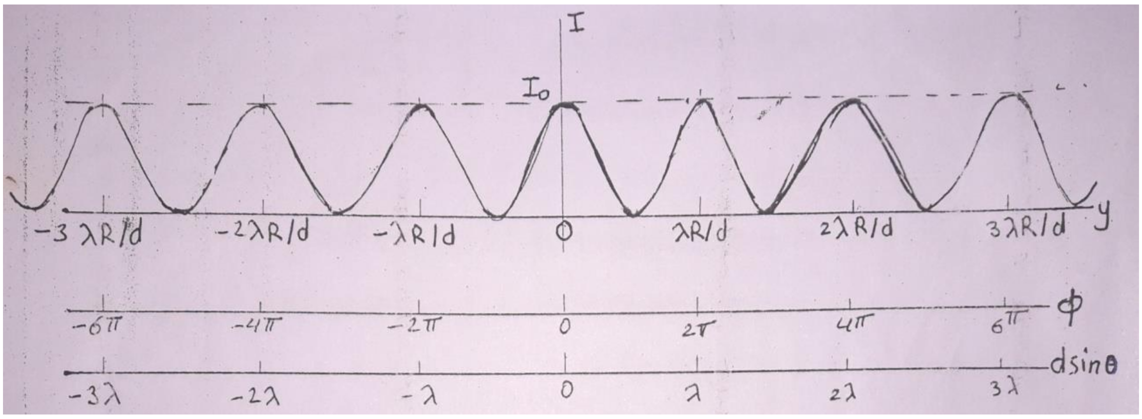
الاتجاهات التي من أجلها تكون الشدات أصغرية $\theta = \pm14.5^0$ و $\pm48.6^0$، لحلها نطبق العلاقة $d\sin\theta = \left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ونحسب بنفس الطريقة .

شدة الإضاءة في أية نقطة تقع على الحاجز:

العلاقات التالية لتعيين شدة الإضاءة في أية نقطة تقع على الحاجز كتابع للبعد d .

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} sin\, \theta\right) = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d y}{\lambda R}\right)$$

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{K d}{2} sin\, \theta\right) = I_0 \cos^2\left(\frac{K d y}{2R}\right)$$



الشكل (4): توزع الشدة في شكل التداخل الناتج عن شقين متماثلين.

y: بعد النقطة المدروسة في شكل التداخل عن المركز $(y = 0)$.

ϕ: فرق الطور بين موجتين في كل نقطة من شكل التداخل.

$d\ sin\ \theta$: فرق المسير بين منبعين في كل نقطة من شكل التداخل.

يُظهر الشكل (4) رسماً بيانياً للمعادلتين السابقتين، يمكننا مقارنة هذا الشكل مع اللقطة الفوتوغرافية (2). كل القمم في الشكل (4) تملك الشدة ذاتها، في حين أنها تخفت في الصورة (2) كلما ابتعدنا عن المركز.

تطبيق: افترض أنَّ أنتينا إرسال الأمواج الراديوية يبعدان عن بعضهما البعض مسافة 10m، وأنَّ تردد الإرسال ازداد حتى $f = 60MHz$، ولنفرض أنَّ الشدة $\mathrm{I_0 = 0.02\, W/m^2}$ على بعد 700m في النقطة الواقعة على متوسط الخط الفاصل بين الأنتينين المتماثلين وفي الاتجاه $\theta = 0$. أوجد عند هذا البعد:

1- الشدة في الاتجاه $\theta = 4^0$.

2- الاتجاه الموافق لكون الشدة تساوي $\frac{1}{2}\mathrm{I_0}$.

3- الاتجاهات الموافقة لانعدام الشدة.

الحل: تتضمن هذه المسألة توزيع الشدة كتابع للزاوية، وبما أنَّ البعد المساوي 700m والذي يفصل الأنتينين عن النقطة التي تُقاس عندها الشدة أكبر بكثير من البعد $d = 10m$ فيما بينهما فإنَّ سعات الأمواج الصادرة عن المنبعين متساوية تقريباً. ولهذا السبب يمكننا استخدام المعادلة (13) لربط الشدة I بالزاوية θ.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8\, m/s}{60 \times 10^6 Hz} = 5m$$

إذاً المسافة الفاصلة بين الأنتينين d تساوي مثلي طول الموجة تماماً، ولذلك فإنَّ: $\frac{d}{\lambda} = \frac{10}{5} = 2$ والمعادلة (13) تصبح من الشكل:

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} sin\, \theta\right) = I_0 \cos^2((2\pi\, rad) sin\, \theta)$$

(a): عندما $\theta = 4^0$، ينتج لدينا:

$$I = I_0 \cos^2\big((2\pi\, rad)\sin 4^0\big) = 0.82\, I_0 = 0.82\, \left(0.02\, \frac{w}{m^2}\right)$$

$$I = 0.016\, w/m^2$$

(b): تتحقق المساواة $I = \frac{I_0}{2}$ عندما يساوي $\cos ine$ في المعادلة (13) $\pm\frac{1}{\sqrt{2}}$، وأصغر الزوايا التي يحدث عندها ذلك يوافق:

$$2\pi\ \sin\theta = \pm\frac{\pi}{4} \ \Rightarrow\ \sin\theta = \pm\frac{1}{8} = \pm 0.125 \ \Rightarrow\ \theta = \pm 7.2^0$$

(c): تساوي الشدة الصفر عندما:

$$\cos[(2\pi\, rad)\sin\theta] = 0$$

وهذا يحدث عندما: $2\pi\sin\theta = \pm\frac{\pi}{2}, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \dots\dots..$

أو عندما: $\sin\theta = \pm 0.25\, , \pm 0.75\, , \pm 1.25, \dots\dots\dots..$

قيم $\sin\theta$ الأكبر من الواحد لا معنى لها ولذلك فإنَّ الجواب ينحصر في $\theta = \pm 14.5^0, \pm 48.6^0$